



УДК 574.583

**ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗООПЛАНКТОНА
ПЕЛАГИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ОЗ. СВЕТЛОЯРСКОЕ (Г. НИЖНИЙ НОВГОРОД)
В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД**

Федотова Ирина Дмитриевна, студент кафедры экологии Института биологии и биомедицины ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», 603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23

Жихарев Вячеслав Сергеевич, к.б.н., доцент кафедры экологии Института биологии и биомедицины ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», 603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23

Аннотация. Работа посвящена вертикальной неоднородности зоопланктона в городском стратифицированном водоеме. Установлено, что распределение зоопланктона по вертикали носит неоднородный характер. Количественное развитие снижается в направлении от эпи- к металимниону. Выявлены факторы окружающей среды, которые влияют на видовую структуру сообществ зоопланктона.

Ключевые слова: вертикальное распределение зоопланктона, температурная стратификация, городское озеро, факторы окружающей среды.

ВВЕДЕНИЕ

Зоопланктон играет ключевую роль в трофических связях и самоочищении водоёмов. Изучение его вертикального распределения особенно важно, так как отражает реакцию организмов на градиенты температуры, кислорода [1], пищевых ресурсов и укрытий от хищников, а также позволяет оценить влияние антропогенных изменений. В 2023 году оз. Светлоярское подверглось «очистке», в ходе которой были извлечены донные отложения и вырублены все макрофиты по береговой линии. Таким образом, современные исследования развития зоопланктона, в том числе – его вертикальное распределение является важной частью экологического мониторинга оз. Светлоярское.

Оз. Светлоярское – искусственный водоем в Сормовском районе г. Нижний Новгород. Озеро образовалось на месте бывшего карьера силикатного завода в результате заполнения котлована грунтовыми водами. Площадь водосбора составляет 1.81 км², площадь водного зеркала – 0.14 км². Глубина водоема на современном этапе его существования составляет до 10 м.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сбор проб зоопланктона осуществляли в августе 2025 г. на трех станциях отбора проб (рис. 1) при помощи пробоотборника Van Dorn (Aquatic Biotechnology, Spain) объемом 6 л. На каждой станции дважды облавливались поверхностный слой (0.5 м) и далее все слои водной толщи через один метр. В общей сложности было собрано 19 проб зоопланктона. Собранный материал фиксировали 40%-ным формалином и этикетировали. На каждой станции отбора проб и каждом горизонте при помощи многопараметрического зонда AquaRead AP-2000 (Aquaread Ltd., United Kingdom) фиксировали температуру воды, рН, содержание в воде растворенного кислорода, хлорофилла-а, а также удельную электропроводность воды.

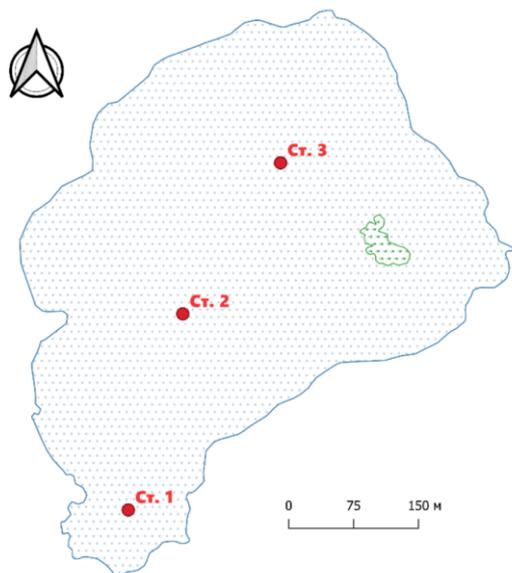


Рис. 1. Карта-схема оз. Светлоярское (г. Нижний Новгород) с указанием станций отбора проб зоопланктона в августе 2025 г.

Идентификацию видов зоопланктона осуществляли с использованием определителей и специальных таксономических и морфологических руководств [2–5]. Для каждой пробы рассчитывали численность, биомассу и видовое богатство [6]. Разбор проб зоопланктона осуществляли с использованием стереомикроскопа Carl Zeiss Stemi 2000C (Carl Zeiss Microscopy, Germany) и прямого микроскопа Olympus CX43 (Olympus Corporation, Japan). Для оценки разнообразия и выравненности зоопланктона использовали Индекс разнообразия Шеннона и выравненности Пиелу. Для определения значимых различий в структурных показателях в разных слоях водной толщи применялся дисперсионный анализ [7]. Анализ избыточности (RDA) использовался для проверки корреляционных связей между факторами окружающей среды и видовой структурой сообществ зоопланктона. Все расчеты проводились с использованием программного обеспечения с открытым исходным кодом R [8,9].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На мелководной (глубина 3 м) станции №1 температурная стратификация не наблюдалась. На станции №2 глубина составляла 9 м и выделялся эпилимнион, металимнион и гиполимнион. На станции №3 глубина составляла 5 м и отчетливо выделялся только эпилимнион и металимнион. Эпилимнион озера в период исследований был прогрет до 25.8 °С, металимнион до 18.5 °С, гиполимнион до 8.5 °С. Распределение всех исследованных показателей воды было одинаковым. Удельная электропроводность воды, рН, температура воды, содержание растворенного кислорода и концентрация хлорофилла-а снижались с глубиной и были минимальными в гиполимнионе.

В составе зоопланктона было обнаружено в общей сложности 33 вида зоопланктона (Rotifera – 14, Cladocera – 14, Copepoda – 5). Среди коловраток наибольшую

встречаемость имели такие виды как *Asplanchna priodonta* Gosse, 1850, *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879), *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851), *Keratella quadrata* (Müller, 1786) и *Synchaeta pectinata* Ehrenberg, 1832. Среди ветвистоусых ракообразных – *Bosmina longirostris* (O.F. Müller, 1785), *Ceriodaphnia pulchella* G.O. Sars, 1862, *Chydorus sphaericus* (O.F. Müller, 1776), *Daphnia cucullata* Sars, 1862 и *Daphnia longiremis* G.O. Sars, 1861. Среди веслоногих ракообразных – *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857), *Thermocyclops oithonoides* (Sars G.O., 1863) и *Eudiaptomus gracilis* (Sars G.O., 1863). Чужеродные виды не были обнаружены.

Анализ количественного развития зоопланктона в эпилимнионе, металимнионе и гиполимнионе показал следующее. Численность зоопланктона и его основных таксономических групп (Rotifera, Cladocera, Copepoda) (рис. 2) уменьшается с глубиной. Это снижение особенно выражено в мета- и гиполимнионе по сравнению с эпилимнионом, что подтверждается статистически значимыми различиями между этими слоями.

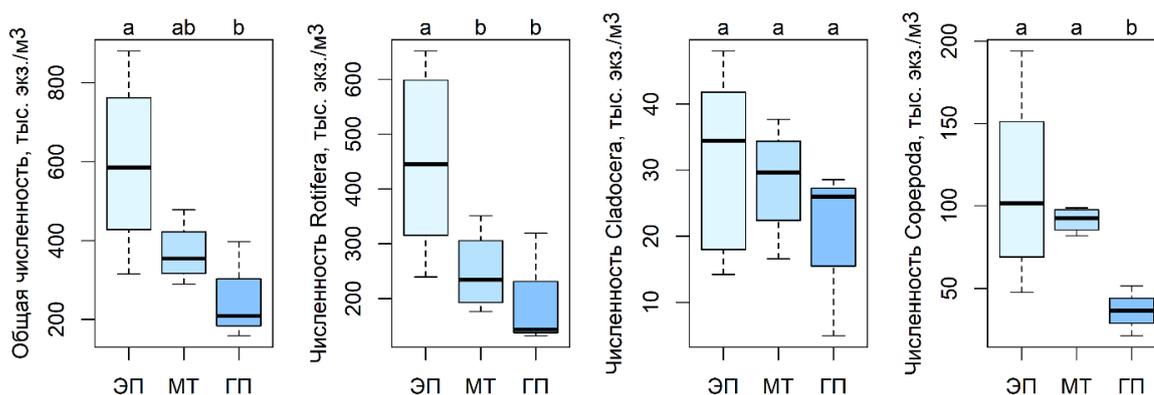


Рис. 2. Вертикальное распределение численности зоопланктона в оз. Светлоярское на глубоководных станциях. ЭП – эпилимнион, МТ – металимнион, ГП – гиполимнион. Для обозначения значимых различий добавлены компактные буквенные обозначения.

Общая биомасса и биомасса отдельных таксономических групп также была максимальной в эпилимнионе и минимальной в гиполимнионе. Однако, статистически значимых различий в разных слоях озера обнаружено не было. Распределение видового богатства в разных слоях озера было более сложным. Общее видовое богатство, видовое богатство коловраток и ветвистоусых ракообразных было наименьшим в металимнионе (рис. 3). Только для видового богатства веслоногих ракообразных наблюдалось снижение от эпи- к гиполимниону (рис. 3). Значения индекса разнообразия Шеннона были наибольшими в эпи- и металимнионе, минимальными в гиполимнионе. При этом значения выравненности Пиеλου в гиполимнионе были максимальными и наоборот минимальными в эпи- и металимнионе.

На мелководной станции №1 вертикальное распределение зоопланктона было особенным в виду массового развития придонных макрофитов. Количественное (численность и биомасса) и качественное (видовое богатство) развитие зоопланктона было максимальным в придонном слое, где произрастал Роголистник погружённый (*Ceratophyllum demersum* L., 1753). В зарослях Роголистника также максимальным было значение индекса разнообразия Шеннона и выравненности Пиеλου. Кроме того, на станции №1 увеличивается доля видов-фильтраторов и фитофильных видов.

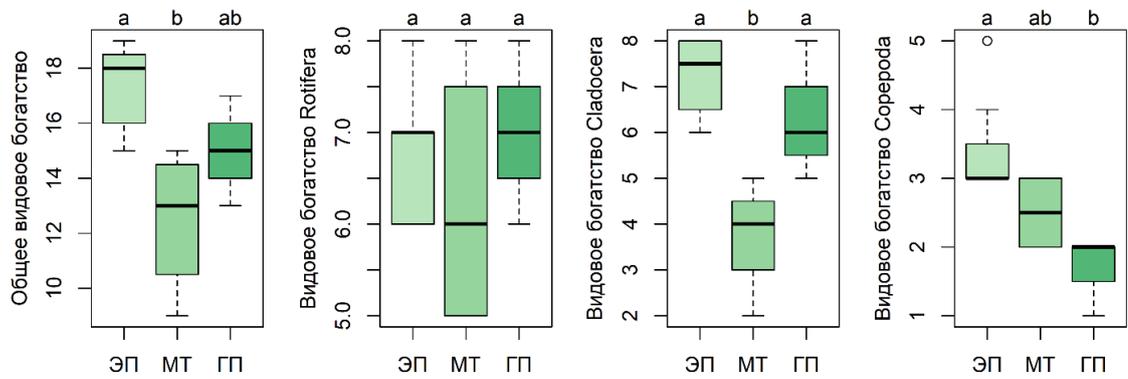


Рис. 3. Вертикальное распределение видового богатства зоопланктона в оз. Светлоярское на глубоководных станциях. ЭП – эпилимнион, МТ – металимнион, ГП – гипolimнион. Для обозначения значимых различий добавлены компактные буквенные обозначения.

Для оценки взаимосвязи фактором окружающей среды и видовой структуры сообществ зоопланктона оз. Светлоярское был проведен анализ избыточности (RDA). Из всех исследованных факторов (температура воды, рН, содержание в воде растворенного кислорода, хлорофилл-а, удельная электропроводность) только содержание хлорофилла-а значимо ($p\text{-value} < 0.05$) объясняло изменения в структуре сообществ зоопланктона. Построенная модель объясняла 36.4% общей дисперсии (рис. 4).

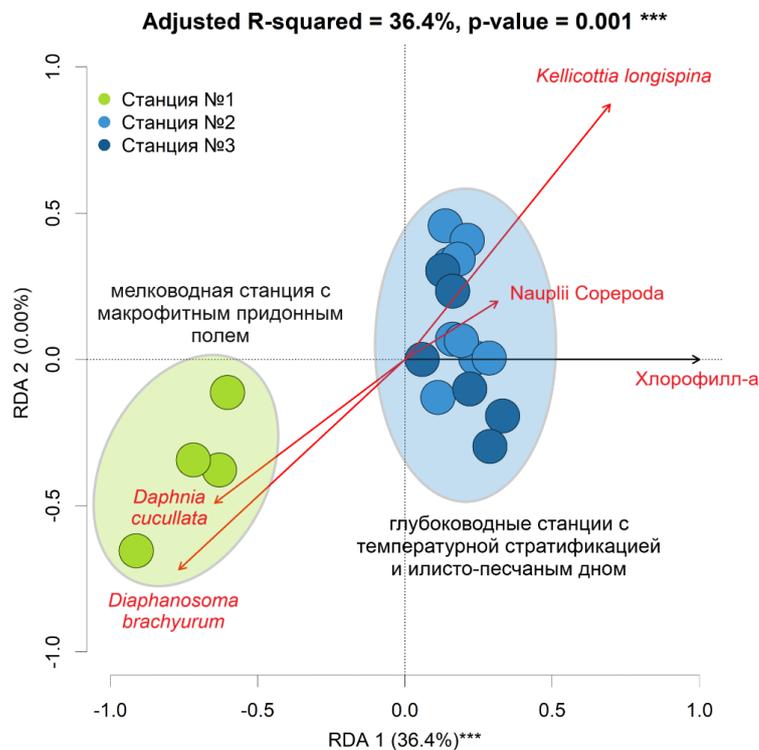


Рис. 4. Ординационная диаграмма анализа избыточности (RDA) для проб зоопланктона оз. Светлоярское

Все пробы расположились вдоль горизонтальной оси, которая объясняла 36.4% дисперсии ($p\text{-value} < 0.05$). Все пробы разделились на две группы: пробы станции №1 и пробы станций №2 и 3. Мы также добавили векторы доминирующих видов на график RDA (рис. 4). Из него видно, что в пробах станции №1 доминировали ракообразные фильтраторы *Daphnia cucullata* Sars, 1862 и *Diaphanosoma brachyurum* (Liévin, 1848), в то время как в пробах станций №2 и 3 доминировали науплиальные стадии веслоногих ракообразных и коловратка *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вертикальное распределение зоопланктона оз. Светлоярское на глубоководных станциях сопряжено с температурной стратификацией водоема. Количественное развитие и разнообразие зоопланктона снижается в направлении от эпи- к гипolimниону. Видовое богатство показывает более сложные взаимосвязи с температурной стратификацией. Наименьшее видовое богатство в металимнионе может быть связано с особенностями трофических сетей в этом слое, прессом сверху (планктоноядные рыбы) и контролем снизу (фитопланктон, как кормовая база). Кроме того, эксперименты показали, что металимнетические автохтонные ресурсы имеют второстепенное значение для зоопланктона по сравнению с эпилимнетическими автохтонными и аллохтонными ресурсами [10]. Однако, для установления закономерностей в будущем необходимо проведение более детальных исследований вертикального распределения зоопланктона и его суточной миграции.

Станция №1 оз. Светлоярское после уничтожения всех прибрежных макрофитов фактически осталась единственным убежищем для фитофильных видов фильтраторов, т.к. на ее дне произрастает Роголистник погружённый (*Ceratophyllum demersum* L., 1753). Это многолетнее травянистое растение способно произрастать в широком спектре экологических условий и часто образует моновидовое скопление. Известно, что Роголистник погружённый способен подавлять массовое развитие некоторых видов фитопланктона по средствам аллелопатического влияния. В воду выделяются специфические аллелохимические соединения, которые угнетают рост, например, цианобактерий [11]. Именно с этим может быть связан тот, факт, что на станции №1 наблюдались минимальные значения хлорофилла-а и в целом определялась роль хлорофилла-а в структурной организации сообществ зоопланктона оз. Светлоярское.

Список литературы:

1. Фенева И.Ю., Разлуцкий В.И., Палаш А.Л., Туновски Я., Зилитинкевич Н.С. Вертикальное распределение планктонных ракообразных в мезо-эвтрофных озерах с разным термическим режимом // Зоологический журнал. – 2016. – Т. 95. – №2. – С. 153–166.
2. Кутикова Л.А. Коловратки фауны СССР. – Л.: Наука, 1970. – 742 с.
3. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон / Под ред. В.Р. Алексеева, С.Я. Цалолихина. – М.: Т-во научных изданий КМК, 2010. – 495 с.
4. Bledzki L.A., Rybak J.I. Freshwater Crustacean Zooplankton of Europe. Cladocera & Copepoda (Calanoida, Cyclopoida). Key to species identification, with notes on ecology, distribution, methods and introduction to data analysis. – Switzerland: Springer International Publishing, 2016. – 918 p.
5. Коровчинский Н.М., Котов А.А., Бойкова О.С., Смирнов Н.Н. Ветвистоусые ракообразные (Crustacea: Cladocera) Северной Евразии. Т. 2. – М.: Т-во научных изданий КМК, 2021. – 544 с.
6. Методы гидробиологических исследований внутренних вод. – Ярославль: Филигрань, 2024. – 557 с.
7. Legendre P., Legendre L. Numerical ecology. – Oxford: Elsevier, 2012. – 990 p.
8. Borcard D., Gillet F., Legendre P. Numerical ecology with R. – New York: Springer, 2011. – 306 p.
9. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing / R Core Team. – 2025. – URL: <http://www.R-project.org/>.
10. Wilkinson G., Carpenter S.R., Cole J., Pace M.L. Use of deep autochthonous resources by zooplankton: Results of a metalimnetic addition of 13 C to a small lake // Limnology and Oceanography. – 2014. – Vol. 59. – P. 986–999.

11. Pęczuła W., Rechulicz J., Tarkowska-Kukuryk M., Mieczan T. The impact of hornwort (*Ceratophyllum demersum* L.) on cyanobacterial phytoplankton communities in hypetrophic conditions. Results from laboratory experiment // *Teka Kom. Ochr. Kszt. Środ. Przyr.* – 2012. – Vol. 9. – P. 164–172.

VERTICAL DISTRIBUTION OF ZOOPLANKTON IN THE PELAGIC ZONE OF THE SVETLOYARSKOYE LAKE (NIZHNY NOVGOROD) DURING THE SUMMER PERIOD

Irina D. Fedotova, Vyacheslav S. Zhikharev

Abstract. The study is devoted to the vertical heterogeneity of zooplankton in an urban stratified lake. It has been established that the vertical distribution of zooplankton is heterogeneous. Quantitative development is decreasing in the direction from epi- to metalimnion. Environmental factors that influence the species structure of zooplankton communities have been identified.

Keywords: vertical distribution of zooplankton, temperature stratification, urban lake, environmental factors.